饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂生长性能、氮代谢、营养物质消化率、毛皮品质及血清指标的影响

张雪蕾[1]　崔　虎[2]　黄胜广[1]　徐逸男[1]　乜　豪[2]　李光玉[1]　王　峰[1*]　张铁涛[1*]

（1.中国农业科学院特产研究所，长春 130112；2.中国农业科学院饲料研究所，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂生长性能、氮代谢、营养物质消化率、毛皮品质及血清指标的影响。选取（120±5）日龄、健康雄性白水貂 60 只，随机分为 6 组，每组 10 个重复，每个重复 1 只水貂。负对照组（Ⅰ组）饲喂粗蛋白质水平为 34%的基础饲粮（色氨酸水平为 0.26%），试验组分别饲喂在负对照组基础饲粮中添加 0.1%（Ⅱ组）、0.3%（Ⅲ组）、0.5%（Ⅳ组）和 0.7%色氨酸（Ⅴ组）的试验饲粮，正对照组（Ⅵ组）饲喂粗蛋白质水平为 36%的基础饲粮（色氨酸水平为 0.27%）。预试期 5 d，正试期 70 d。结果表明：1）各组白水貂平均日增重、平均日采食量、干物质消化率、粗蛋白质消化率、粗脂肪消化率、氮沉积均无显著差异(P>0.05)，各组白水貂毛皮品质评分无显著差异(P>0.05)，各组白水貂血清谷草转氨酶活性和胰岛素样生长因子-Ⅰ含量无显著差异(P>0.05)。2）Ⅴ组白水貂血清总胆固醇含量显著高于Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅳ组、Ⅵ组(P<0.05)；Ⅳ组、Ⅴ组白水貂血清免疫球蛋白 M 含量显著高于Ⅱ组(P<0.05)；Ⅳ组、Ⅴ组白水貂血清免疫球蛋白 A 含量显著高于Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅵ组(P<0.05)，Ⅵ组显著低于Ⅰ组(P<0.05)；Ⅵ组白水貂血清免疫球蛋白 G 含量显著低于Ⅰ组、Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅳ组(P<0.05)。由此可见，在饲粮粗蛋白质水平为 34%和色氨酸水平为 0.26%时，即可以满足冬毛期白水貂色氨酸营养基本需要，生长性能较理想。

关键词：冬毛期；白水貂；色氨酸；生长性能；血清生化指标

收稿日期：2017-08-08

基金项目：中国农科院基本科研业务费(1010342016033，1610342016033)

作者简介：张雪蕾（1991-），女，蒙古族，黑龙江齐齐哈尔人，硕士研究生，研究方向为特种经济动物饲养。E-mail:　zhangxuelei1020@qq.com

*通信作者：王　峰，研究员，硕士生导师，E-mail:　tcswf@126.com.13500991913；张铁涛，副研究员，E-mail:　zhangtietao@caas.cn

中图分类号：S865.2+2

色氨酸是动物体内的必需氨基酸，不仅作为蛋白质合成的原料，而且调节蛋白质的合成。色氨酸的自身代谢产物 5-羟色胺（5-HT）通过作用于下丘脑中枢调控动物采食量，随之调控动物的生长性能。除此之外，色氨酸作为免疫相关蛋白的限制性氨基酸，可增加动物体内的γ-球蛋白含量，参与神经-内分泌-免疫网的调控[1]，色氨酸对免疫力的影响还可以通过其诱导的胰岛素样生长因子（IGFs）和 5-HT、褪黑激素实现，其中 IGFs 可促进早期 T 淋巴细胞分化为成熟 T 细胞[2]。最近的研究表明，低蛋白质饲粮中可消化 *L*-色氨酸水平为 0.146%时，试验猪表现出最佳的生长性能；但当 *L*-色氨酸水平超过 0.152%时，试验猪的生长性能则呈降低趋势[3]。魏宗友等[4]研究报道，饲粮中添加 *L*-色氨酸可显著提高扬州鹅的脾脏指数，并通过刺激免疫球蛋白 G（IgG）和免疫球蛋白 M（IgM）分泌提高其体液免疫能力，而有关饲粮色氨酸水平对冬毛期白水貂的研究目前还未见报道。因此，本试验旨在通过研究饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂生长性能、氮代谢、营养物质消化率、毛皮品质、血清生化指标及血清免疫指标的影响，探讨冬毛期雄性白水貂饲粮色氨酸的适宜添加水平，为我国水貂饲养标准的制订提供合理的依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

在中国农业科学院特产研究所动物试验基地选择体重相近的(120±5)日龄雄性白水貂 60 只。

1.2 试验饲粮

参照前人对水貂营养需要量的研究结果[5]配制冬毛期水貂基础饲粮，其组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets （air-dry basis） %

项目 Items	负对照组 Negative control group		正对照组 Positive control group	
	干物质水平 DM level	加工水平 Process level	干物质水平 DM level	加工水平 Process level
原料 Ingredients				
鸡肝 Chicken liver	3.94	4.54	3.70	4.27
海杂鱼 Sea fish	20.28	33.02	19.01	31.04
鸡头 Chicken head	6.45	7.79	6.06	7.32
鸡腺胃 Chicken glandular stomach	3.69	3.80	3.47	3.57
鸡骨架 Chicken skeleton	23.13	17.30	21.74	16.26
膨化玉米粉 Extruded corn	36.00	13.17	34.14	12.39
鱼粉 Fish meal			6.00	2.10
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.32	0.11		
豆油 Soybean oil	4.63	1.62	4.35	1.52
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.43	0.15	0.40	0.14
L-蛋氨酸 *L*-Met	0.14	0.05	0.13	0.05
水 Water		18.10		21.02
预混料 Premix[1)]	1.00	0.35	1.00	0.33
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]				

代谢能 ME/(MJ/kg)	17.05	17.05	17.10	17.10
粗蛋白质 CP	34.29	34.29	36.35	36.35
粗脂肪 EE	22.10	22.10	22.17	22.17
钙 Ca	2.43	2.43	2.44	2.44
总磷 TP	1.29	1.29	1.29	1.29
钙磷比 Ca/P	1.88	1.88	1.89	1.89
色氨酸 Trp	0.26	0.26	0.27	0.27
赖氨酸 Lys	1.66	1.66	1.68	1.68
蛋氨酸 Met	0.79	0.79	0.80	0.80

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 10 000 IU，VD_3 2 000 IU，VE 100 IU，VB_1 6 mg，VB_2 10 mg，VB_6 6 mg，VB_{12} 0.1 mg，VK_3 1 mg，VC 400 mg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，泛酸 pantothenic acid 40 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 1 mg，胆碱 choline 400 mg，Fe 82 mg，Cu 20 mg，Mn120 mg，Zn 50 mg，I 0.5 mg，Se 0. 2mg，Co 0.3 mg。

2)粗蛋白质、粗脂肪、钙、总磷、色氨酸、赖氨酸、蛋氨酸为测定值，代谢能为计算值。CP, EE, Ca, TP, Trp, Lys and Met were measured values, while ME was a calculated value。

1.3 试验设计

将 60 只试验水貂随机分为 6 个组，每组 10 个重复，每个重复 1 只水貂，通过方差分析调整各组间平均体重至差异不显著($P>0.05$)。负对照组（Ⅰ组）饲喂粗蛋白质水平为 34%的基础饲粮（色氨酸水平为 0.26%），试验组分别饲喂在负对照组基础饲粮中添加 0.1%（Ⅱ组）、0.3%（Ⅲ组）、0.5%（Ⅳ组）和 0.7%色氨酸（Ⅴ组）的试验饲粮，正对照组（Ⅵ组）饲喂粗蛋白质水平为 36%的基础饲粮（色氨酸水平为 0.27%），试验设计见表 2。预试期 5 d，正试期 70 d。

表 2　试验设计

Table 2 Experimental design %

项目 Items	组别 Groups					
	I (负对照 negative control）	II	III	Ⅳ	V	Ⅵ（正对照 positive control）
色氨酸添加水平 Trp supplemental level		0.1	0.3	0.5	0.7	
粗蛋白质水平 CP level	34	34	34	34	34	36

1.4 饲养管理

试验水貂均单笼饲养，每日 07: 30 与 14: 30 各饲喂 1 次，自由采食，自由饮水，每日记录实际采食量。试验时间为 2016 年 9 月 19 日至 2016 年 12 月 3 日。

1.5 消化代谢试验

消化代谢试验时间为 2016 年 10 月 10 日至 2016 年 10 月 12 日，共计 3 d，每组挑选 6 只体重相近的水貂进行消化代谢试验。采用全收粪法，消化代谢试验期间饲养管理与日常饲养管理相同。每天收集的粪便称重后按鲜重的 5%加入 10%硫酸溶液，并加少量甲苯防腐，保存于-20 ℃备用。将 3 d 的粪便混合均匀 65 ℃烘干至恒重，磨碎过 40 目筛，制成风干样本，以备实验室分析。

1.6 测定指标及方法

1.6.1 血清制备

饲养试验结束后，每组分别选取 5 只水貂，心脏采血。每只采血 10 mL，置于促凝固管中，静置待血清析出后 3 500 r/min、4 ℃离心 10 min。将分离出的血清分装在 1.5 mL 的 Eppendorf 管中，置于-80 ℃中保存、备用。

1.6.2 毛皮品质

屠宰试验前对毛皮品质进行鉴定，品质评分 1~12 分，颜色 1~5 分，光泽度 1~5 分，平齐度 1~5 分，柔软度 1~5 分，合计总分为毛皮品质评分[6-7]，精确到 0.01；卷尺测量从水貂的鼻尖到尾根的长度为体长，精确到 0.1 cm；直尺测量针毛、绒毛长，并计算针绒比。

1.6.3 测定指标

色氨酸含量测定采用分光光度法，参照 GB/T 15400—94；盐酸水解法测定饲粮中的氨基酸含量，参考 GB/T 5009.124—2003；基础饲粮中干物质含量采用 105 ℃烘干法测定，参照 GB/T 6435—2006；凯氏定氮法测定粗蛋白质含量，参考 GB/T 6432-1994[8]；高锰酸钾滴定法测定钙含量，参考 GB/T 6436-2002[9]；钒钼酸铵比色法测定总磷含量，参考 GB/T 6437-2002[10]；血清天冬氨酸氨基转移酶(aspartate aminotransferase，AST)、丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase，ALT)活性及 IgG、免疫球蛋白 A(IgA)、IgM 含量测定用试剂盒均购自南京建成有限公司，按照试剂盒说明书操作；血清甘油三酯(TG)、总胆固醇(TCHO)含量均采用日本和光纯药工业株式会社提供的试剂盒测定；血清胰岛素样生长因子-Ⅰ(IGF-I)含量采用酶联免疫吸附测定（ELISA）法测定。

1.7 数据统计

数据采用 SAS 9.1.3 统计软件中的 GLM 进行数据的方差分析，Duncan 氏法进行多重比较。$P<0.05$ 为差异显著，$P>0.05$ 为差异不显著。

2 结 果

2.1 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂生长性能的影响

由表 3 可知，饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)和料重比（F/G）均无显著影响($P>0.05$)。

表 3 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂生长性能的影响

Table 3 Effects of dietary Trp supplemental level on growth performance of white minks during winter fur-growing period

项目 Items	组别 Groups I	II	III	IV	V	VI	P 值 P-value
平均日采食量 ADFI/(g/d)	131.49±24.65	123.12±22.79	118.34±13.37	115.74±20.45	120.68±17.70	108.88±18.03	0.510 8
平均日增重 ADG/(g/d)	7.54±3.20	7.34±3.28	7.00±3.36	6.27±4.23	6.75±3.94	5.86±2.59	0.921 2
料重比 F/G	16.01±2.96	17.89±6.86	16.56±8.18	17.71±11.50	16.73±6.13	18.94±4.63	0.983 3

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂氮代谢和营养物质消化率的影响

由表 4 可知，Ⅰ组~Ⅴ组干物质消化率随饲粮色氨酸添加水平的增加呈下降的趋势，各组间干物质消化率无显著差异(P>0.05)。各组间粗蛋白质消化率和粗脂肪消化率无显著差异(P>0.05)。各组间食入氮、粪氮、尿氮和氮沉积无显著差异(P>0.05)。Ⅳ组净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值显著高于Ⅱ组、Ⅵ组(P<0.05)，Ⅳ组与Ⅰ组之间无显著差异(P>0.05)。

表 4　饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂氮代谢和营养物质消化率的影响

Table 4　Effects of dietary Trp supplemental level on nitrogen metabolism and nutrient digestibility of white minks during winter fur-growing period

项目 Items	组别 Groups I	II	III	IV	V	VI	P 值 P-value
干物质消化率 DM digestibility/%	78.86±2.27	78.59±1.31	77.78±0.54	77.80±1.63	77.50±1.92	78.28±1.96	0.722 2

粗蛋白质消化率 CP digestibility/%	86.12±1.23	85.40±1.89	85.77±0.88	85.63±0.61	84.39±1.80	84.57±2.02	0.650 0
粗脂肪消化率 EE digestibility/%	96.52±1.58	96.49±0.84	95.21±1.49	95.12±1.31	95.40±196	96.37±0.91	0.391 8
食入氮 Intake nitrogen/（g/d）	7.08±1.35	6.67±1.25	6.42±0.74	6.26±1.11	6.55±0.98	6.18±0.33	0.749 8
粪氮 Fecal nitrogen/（g/d）	1.05±0.14	0.96±0.15	0.91±0.13	0.90±0.15	1.01±0.09	0.97±0.17	0.430 9
尿氮 Urine nitrogen/（g/d）	2.53±0.54	2.68±0.54	2.42±0.40	2.12±0.66	2.41±0.37	2.41±0.19	0.523 5
氮沉积 Nitrogen deposition/（g/d）	3.50±0.99	3.03±0.61	3.08±0.51	3.24±0.54	3.13±0.57	2.80±0.15	0.625 4
净蛋白质利用率 Net protein utilization/%	48.88±7.15[ab]	45.37±1.31[b]	47.96±5.66[ab]	52.40±6.97[a]	47.60±2.20[ab]	45.23±1.28[b]	0.204 8
蛋白质生物学价值 BV of protein/%	57.45±7.11[ab]	53.13±1.13[b]	55.91±6.43[ab]	61.22±8.42[a]	56.39±1.64[ab]	53.69±1.65[b]	0.192 0

2.3 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂毛皮品质的影响

由表 5 可知，各组白水貂毛皮品质评分无显著差异(P>0.05)。各组白水貂体长和针毛长无显著差异(P>0.05)，Ⅴ组白水貂绒毛长显著高于Ⅲ组(P<0.05)，Ⅴ组白水貂针绒比显著低于Ⅱ组(P<0.05)。

表 5　饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂毛皮品质的影响

Table 5　Effects of dietary Trp supplemental level on fur quality of white minks during winter fur-growing period

项目 Items	组别 Groups I	II	III	IV	V	VI	P 值 *P*-value
毛皮品质评分 Fur quality score	22.21±1.56	23.25±0.97	23.02±0.98	22.77±1.35	22.93±0.56	23.06±1.55	0.520 2
体长 Body length/cm	49.50±1.43	50.10±2.70	48.20±3.11	48.20±3.42	51.00±2.92	47.72±1.51	0.339 7
针毛长 Guard length/cm	2.38±0.20	2.28±0.04	2.14±0.36	2.18±0.22	2.40±0.16	2.40±0.16	0.230 5
绒毛长 Underwear length/cm	1.98±0.25[ab]	1.84±0.05[ab]	1.78±0.29[b]	1.86±0.21[ab]	2.10±0.20[a]	1.96±0.15[ab]	0.208 5
针绒比 G/U	1.21±0.08[ab]	1.24±0.04[a]	1.20±0.04[ab]	1.18±0.08[ab]	1.15±0.04[b]	1.23±0.07[ab]	0.176 9

2.4 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂血清生化指标的影响

由表 6 可知，Ⅴ组血清中 TCHO 含量显著高于Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅳ组、Ⅵ组(P<0.05)。各组血清中 TG 含量无显著差异(P>0.05)。Ⅵ组血清中 ALT 活性显著高于Ⅱ组(P<0.05)。各组血清中 AST 活性无显著差异(P>0.05)。各组血清中 IGF-Ⅰ含量无显著差异(P>0.05)。

表 6 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂血清生化指标的影响

Table 6 Effects of dietary Trp supplemental level on serum biochemical parameters of white minks during winter fur-growing period

项目 Items	组别 Groups I	II	III	IV	V	VI	P 值 *P*-value

总胆固醇 TCHO	5.97±0.31^{ab}	5.07±0.74^{b}	4.74±0.75^{b}	5.70±0.28^{b}	6.94±0.62^{a}	4.76±1.07^{b}	0.003 0
甘油三酯 TG	2.01±0.65	2.64±0.23	2.75±0.83	2.32±0.86	1.29±0.30	2.62±1.74	0.279 7
谷丙转氨酶 ALT	189.17±27.57^{ab}	119.60±12.25^{b}	185.67±60.35^{ab}	228.26±75.82^{ab}	175.25±29.49^{ab}	239.18±116.07^{a}	0.187 8
谷草转氨酶 AST	210.15±56.16	156.62±48.36	186.16±101.43	181.75±119.97	176.58±44.6	215.46±102.93	0.898 6
胰岛素样生长因子 - I IGF- I	897.25±343.03	755.67±194.77	820.00±105.28	753.60±397.67	752.25±293.03	819.25±112.57	0.638 1

2.5 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂血清免疫指标的影响

由表 7 可知，Ⅳ组、Ⅴ组血清中 IgM 含量显著高于Ⅱ组(P<0.05)。Ⅳ组、Ⅴ组血清中 IgA 含量显著高于Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅵ组(P<0.05)，Ⅵ组血清中 IgA 含量最低并且显著低于Ⅰ组(P<0.05)。Ⅰ组、Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅳ组血清中 IgG 含量逐渐上升，Ⅴ组血清中 IgG 含量开始降低，Ⅵ组血清中 IgG 含量最低并且显著低于Ⅰ组、Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅳ组(P<0.05)。各组免疫器官指数（肝脏指数、脾脏指数）无显著差异(P>0.05)。

表 7 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂血清免疫指标的影响

Table 7 Effects of dietary Trp supplemental level on serum immune parameters of white minks during winter fur-growing period

项目	组别 Groups						P 值
Items	I	II	III	IV	V	VI	P-value
免疫球蛋白 M IgM/(μg/mL)	917.94±178.66^{ab}	825.26±44.43^{b}	1 044.16±230.69^{ab}	1 160.24±65.76^{a}	1 145.14±282.82^{a}	977.12±101.56^{ab}	0.156 2
免疫球蛋白	1	1	1	1	1	1 320.71±216.64^{c}	0.002 5

A IgA/(μg/mL)	743.06±177.92[ab]	439.82±212.69[bc]	449.80±186.42[bc]	933.99±242.55[a]	903.45±345.55[a]		
免疫球蛋白 G IgG/(g/L)	11.06±1.42[a]	11.10±1.46[a]	11.95±1.09[a]	12.10±0.55[a]	9.86±1.81[ab]	7.99±1.79[b]	0.005 2
肝脏指数 Liver index	31.08±7.97	30.59±3.68	32.75±7.45	35.74±6.15	32.11±6.57	35.82±8.67	0.746 7
脾脏指数 Spleen index	4.50±1.62	3.41±0.62	4.26±1.44	5.18±1.03	4.42±1.16	3.73±1.25	0.310 0

3 讨 论

3.1 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂生长性能、营养物质消化率的影响

色氨酸通过 5-HT 和胃肠调节肽胃饥饿素 2 条途径调节采食量，一方面作用于下丘脑的采食中枢，另一方面通过提高胃饥饿素的分泌和提高肠道排空速度来提高动物采食量，同时还能提高葡萄糖的吸收速率，促进机体能量的吸收与积累，进而促进体重增长[11-12]。本试验中，各组平均日采食量、平均日增重和料重比均没有显著差异，可能因为水貂肉食性饲粮中色氨酸水平较高（0.26%），基础饲粮中色氨酸水平可以维持氨基酸平衡，满足水貂的基本营养需要。研究报道，饲粮色氨酸水平不足不仅会显著降低猪的平均日增重、饲料转化率和氮沉积，而且还会造成血清胰岛素和 IGF-Ⅰ含量的下降[13-15]。IGF-Ⅰ是动物机体的重要内分泌激素，参与各种代谢活动，调控动物机体的生长发育、繁殖、细胞分化及代谢等，在一定程度上能够反映动物的营养和生长状况[16]。有关猪、鸡、牛等试验均证明，血清中 IGF-Ⅰ含量与体重呈正相关[17-19]。本试验中各组血清中 IGF-Ⅰ含量均无显著差异，冬毛期水貂生长性能趋于平缓。饲粮色氨酸添加水平对干物质消化率、粗蛋白质消化率、粗脂肪消化率、食入氮、粪氮、尿氮、氮沉积均无显著影响，Ⅳ组净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值最高，反映了蛋白质实际被利用的程度最好，Ⅰ组与Ⅳ组差异不显著。

3.2 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂毛皮品质的影响

水貂是以生产毛皮为主要目的的肉食性动物，具有很高的经济价值。色氨酸通过合成褪黑激素来调控哺乳动物的毛皮生长，褪黑激素是由松果腺细胞从血液中摄取色氨酸及其羟化酶合成的，褪黑激素分泌增加可促进毛皮的成熟，迅速长出浓密的冬毛[20]。体长、体重和毛皮品质是决定毛皮动物养殖经济效益的主要因素，毛皮品质优劣主要体现在色泽、针毛及绒毛长度、针毛细度、毛密度和平齐度几个方面[21]。Brsting 等[22]研究报道，如果饲粮中的必需氨基酸含量低，饲粮蛋白质水平为 40％时，可以保证毛皮的质量；相反，如果饲粮中的必需氨基酸含量较高，饲粮中蛋白质仅达到 30％时，就可以保证毛皮的质量。本试验针对毛皮品质总体情况、颜色、光泽、平齐度几方面进行评分，各组间差异不显著，说明色氨酸作为必需氨基酸含量较高。从整体平齐度看，Ⅴ水貂针绒毛平气度最好，Ⅲ组最差。

3.3　饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂血清生化指标的影响

血清 TCHO 含量反映了动物体内脂肪的沉积状况，适宜的氨基酸水平可以降低血清中 TCHO 含量，本试验中，Ⅴ组血清中 TCHO 含量最高，可能因为饲粮添加色氨酸添加水平过高，氨基酸平衡受到影响，从而影响脂肪沉积。Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅳ组饲粮色氨酸水平为 0.36%~0.76%时，血清中 TCHO 含量较低，说明脂肪沉积状况略好于色氨酸水平为 0.26%的负对照组。高饲粮蛋白质水平的Ⅵ组血清中 TCHO 含量近似于试验组，可能是蛋白质分解为氨基酸参与其间的作用。Akiba 等[23]研究报道，给肉鸡补充色氨酸会使肝脏总脂肪含量下降，同时会影响血清 TCHO 和 TG 的含量。TG 则反映脂肪合成的强度，添加一定量的色氨酸可降低脂肪的合成。本试验中，Ⅴ组血清中 TG 含量较低，脂肪合成的强度降低，脂肪沉积降低，各组间粗脂肪消化率无显著差异，脂肪合成与沉积之间的关系需要进一步探讨。

ALT 与 AST 主要分布在肝细胞内，其中 ALT 主要分布在肝细胞质中，AST 主要分布在肝细胞浆和肝细胞线粒体中，血清中 ALT 和 AST 活性可以反映机体中肝脏合成蛋白质的能力和肝脏功能的状况[24]。正常情况下，血清中这 2 种酶活性较低，组织中以心脏和肝脏的活性最高。当组织受损时，大量的转氨酶进入血清，引起血清中转氨酶活性升高，因此，可以根据血清中这 2 种酶活性的变化来判断组织器官的功能[25]。本试验中，Ⅱ组血清中 ALT 和 AST 活性最低，表明肝脏组织活性最强；Ⅵ组血清中 ALT 活性最高，原因可能是高蛋白质给肝脏功能带来了一定的负担。

3.4 饲粮色氨酸添加水平对冬毛期白水貂血清免疫指标的影响

色氨酸作为免疫相关蛋白的限制性氨基酸，在动物体液免疫调节中发挥着重要的作用。饲粮中色氨酸水平升高会促进动物血清中免疫球蛋白的合成，增强机体的免疫力[26]。色氨酸主要的分解代谢途径是犬尿氨酸代谢途径，研究表明，在免疫调节中，一定量的犬尿氨酸及其产物可以抑制促炎细胞因子白细胞介素-17（1L-17）的生成，进而抑制辅助性 T 细胞 17（Th17）的成熟分化，促进 $CD4^+$ T 细胞转化为调节性 T 细胞，减轻机体炎症反应[27]，增强免疫力。除此之外，色氨酸代谢通路中涉及免疫调节的关键因子吲哚-2,3 双加氧酶(IDO)、喹啉酸、5-HT 和褪黑激素均发挥重要作用。本试验中，Ⅳ组血清中各免疫球蛋白含量最高，说明饲粮中色氨酸水平为 0.76%时，水貂机体免疫功能达到最好，饲粮色氨酸水平超过 0.76%，免疫功能下降，原因可能是过量的色氨酸对肝脏代谢造成负担，影响肝脏功能，激发肝脏免疫功能。Ⅰ组与Ⅵ组相比可知，高饲粮蛋白质水平不能提高水貂免疫力。

免疫器官是动物机体执行免疫功能的组织结构，是淋巴细胞和其他免疫细胞发生、分化、增殖以及产生免疫应答的场所。一般情况下认为，免疫器官指数的提高意味着动物机体免疫系统成熟较快。邱时秀[28]在鼠上研究发现，在一定色氨酸水平范围内，补充色氨酸可促进脾脏发育，提高脾脏指数。本试验中，各组间免疫器官指数没有显著差异，Ⅳ组肝脏指数略高于其他试验组；试验组肝脏指数与高饲粮蛋白质水平的正对照组相比相近，说明高蛋白质与提高色氨酸添加水平均可提高水貂免疫器官指数。脾脏指数中Ⅳ最高，并且高于饲粮蛋白质水平的正对照组，由此推测，蛋白质是通过作用于肝脏提高免疫力的。

4 结 论

在饲粮粗蛋白质水平为 34%时，饲粮色氨酸水平为 0.26%，就可以满足冬毛期白水貂色氨酸营养的基本需要，获得较理想的生长性能；饲粮色氨酸水平达到 0.76%时，氨基酸代谢失去平衡，肝脏受到损伤，免疫功能被激活。

参考文献：

[1]张括,王安,刘洋景.12~17 周龄金定蛋鸭色氨酸适宜需要量的研究[J].饲料工业,2011,32(20):6–9.

[2]贺强,袁超,李俊明等.色氨酸在家禽营养中的研究进展[J].饲料工业,2014(S1):7–10.

[3]王荣发,李敏,贺喜,等.低蛋白质饲粮条件下生长猪对色氨酸需要量的研究[J].动物营养学报,2011,23(10):1669–1676.

[4] 魏宗友,王洪荣,潘晓花,等.饲喂方式和饲粮色氨酸水平对扬州鹅免疫功能及抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(12):2356–2365

[5] NRC.Nutrient requirements of mink and foxes[S].Washington,D.C.:National Academy Press,1982.

[6] SANDBØL P,CLAUSEN T,HEJLESEN C.Methionine and methyldonors for mink (*Mustela vison*) in the furring period[Z].Holstebro,Denmark:Danish Furbreeders Research Center.

[7] WU X Z, LIU Z, ZHANG T T, et al.Effects of dietary copper on nutrient digestibility,tissular copper deposition and fur quality of growing-furring mink (*Mustela vison*)[J].Biological Trace Element Research,2014,158(2):166–175.

[8]全国饲料工业标准化技术委员会.GB/T 6432–1994 饲料中粗蛋白测定方法[S].北京:中国标准出版社,1994.

[9]全国饲料工业标准化技术委员会.GB/T 6436–2002 饲料中钙的测定[S].北京:中国标准出版社,2002.

[10]全国饲料工业标准化技术委员会.GB/T 6437–2002 饲料中总磷的测定分光光度法[S].北京:中国标准出版社,2002.

[11]PONTER A A,SÈVE B, MORGAN L M.Intragastric tryptophan reduces glycemia after glucose,possibly via glucose-mediated insulinotropic polypeptide,in early-weaned piglets[J].The Journal of Nutrition,1994,124(2):259–267.

[12]ZHANG H W,YIN J D,LI D F,et al.Tryptophan enhances ghrelin expression and secretion associated with increased food intake and weight gain in weanling pigs[J].Domestic Animal Endocrinology,2007,33(1):47–61.

[13]CORTAMIRA N O,SÈVE B,LEBRETON Y,et al.Effect of dietary tryptophan on muscle,liver and whole-body protein synthesis in weaned pig lets :relationship to plasma insulin[J].British Journal of Nutrition,1991,66(3):423–435.

[14]SÈVE B,MEUNIER-SALAŬN M C,MONNIER M,et al.Impact of dietary tryptophan and behavior a l type on growth performance and plasma amino acids of young pigs[J].Journal of Animal Science,1991,69(9):3679–3688.

[15]王灿,苗志敏,李长贵,等.人体血尿酸水平对血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶水平的影响[J].山东医药,2010,50(29):1–3.

[16]赵红霞,詹勇,许梓荣.胰岛素样生长因子-Ⅰ研究与应用[J].畜牧与兽医,2002,34(6):36–38.

[17]KERR D E,LAARVELD B,MANNS J G.Effects of passive immunization of growing guinea-pigs with an insulin-like growth factor-Ⅰ monoclonal antibody[J].Journal of Endocrinology,1990,124(3):403–415.

[18]KIKUCHI K,BUONOMO F C,KAJIMOTO Y,et al.Expression of insulin-like growth factor-Ⅰ during chicken development[J].Endocrinolgy,1991,128(3):1323–1328.

[19]LUND-LARSEN T R,SUNDBY A,KRUSE V,et al.Relation between growth rate,serum somatomedin and plasma testosterone in young bulls[J].Animal Science,1977,44(2):189–194.

[20]殷清清,李福昌,王雪鹏,等.饲粮色氨酸水平对生长獭兔生长性能、氮代谢、血清生化指标及毛皮质量的影响[J].动物营养学报,2013,25(5):1010–1016.

[21]郭天芬,高雅琴,牛春娥,等.影响毛皮品质的主要因素[J].当代畜牧,2007(8):51–53.

[22] BRSTING C F,OLESEN C R.The influence of amino acid supply on the production results of mink[R].Nordic Association of Agricultural Scientists,NJF Report No.92.Copenhagen:[s.n.],1993:88–90.

[23]AKIBA Y,TAKAHASHI K,HORIGUCHI M,et al.L-tryptophan alleviates fatty liver and modifies hepatic microsomal mixed function oxidase in laying hens[J].Comparative Biochemistry and Physiology,1992,102(4):769–774.

[24]KIMBALL S R,VARY T C,JEFFERSON L S.Regulation of protein synthesis by insulin[J].Annual Review of Physiology,1994,56:321–348.

[25]马玉娥,占秀安,朱巧明,等.饲粮色氨酸水平对黄羽肉种鸡生产性能、抗氧化功能及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2011,23(12):2177–2182.

[26]ZHU B T.Development of selective immune tolerance towards the allogeneic fetus during pregnancy:role of tryptophan catabolites (review)[J].International Journal of Molecular Medicine,2010,25(6):831–835.

[27]KOLODZIEJ L.Systemic metabolism of tryptophan and its catabolites,kynurenine and 3-HAA,in mice with inflammatory arthritis[J].Gene,2013,512(1):23–27.

[28]邱时秀.日粮色氨酸水平对感染伪狂犬病毒妊娠雌鼠繁殖性能和免疫功能的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2009:26–28.

Effects of Dietary Tryptophan Supplemental Level on Growth Performance, Nitrogen Metabolism, Nutrient Digestibility, Fur Quality and Serum Parameters of White Minks during Winter Fur-Growing Period

ZHANG Xuelei[1] CUI Hu[2] HUANG Shengguang[1] XU Yinan[1] NIE Hao[2] LI Guangyu[1]
WANG Feng[1*] ZHANG Tietao[1*]

(1. *Institute of Economic Animal and Plant Science*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Changchun* 130112, *China*; 2. *Institute of Feed Research*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This study was conducted to study the effects of dietary tryptophan (Trp) supplemental level on growth performance, nitrogen metabolism, nutrient digestibility, fur quality and serum parameters of white minks during winter fur-growing period. Sixty (120±5)-day-old healthy male white minks were randomly divided into 6 groups with 10 replicates per group and 1 mink per replicate. Minks in the negative control group (group Ⅰ) were fed a basal diet (crude protein level was 34%, Trp level was 0.26%), minks in the experimental groups were fed the basal diets supplemented with 0.1% (group Ⅱ), 0.3% (group Ⅲ), 0.5% (group Ⅳ) and 0.7% Trp (group Ⅴ), respectively, and minks in the positive control group (group Ⅵ) were fed a basal diet (crude protein level was 36%, Trp level was 0.27%). The pretest period lasted for 5 days and the trial lasted for 70 days. The results showed as follows: 1) there were no significant differences on the

average daily gain, average daily feed intake, dry matter digestibility, crude protein digestibility, ether extract digestibility and nitrogen deposition of white minks among all groups ($P>0.05$), there were no significant differences on the fur quality score of white minks among all groups ($P>0.05$), there were no significant differences on the glutamic-oxalacetic transaminase activity and insulin like growth factor-Ⅰ content in serum of white minks among all groups ($P>0.05$). 2) The serum total cholesterol content of white minks in group Ⅴ was significantly higher than that in groups Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ and Ⅵ ($P<0.05$); the serum immunoglobulin M content of white minks in groups Ⅳ and Ⅴ was significantly higher than that in group Ⅱ ($P<0.05$); the serum immunoglobulin A content of white minks in groups Ⅳ and Ⅴ was significantly higher than that in groups Ⅱ Ⅲ and Ⅵ ($P<0.05$), and the serum immunoglobulin A content of white minks in groups Ⅳ was significantly higher than that in group Ⅰ ($P<0.05$); the serum immunoglobulin G content of white minks in groups Ⅳ was significantly lower than that in groups Ⅰ Ⅱ Ⅲ and Ⅳ ($P<0.05$). In conclusion, diet with 0.26% Trp level and 34% crude protein level can satisfy the Trp nutrient basal requirement of white minks during winter fur-growing period, and has ideal growth performance.

Key words: winter fur-growing period; white minks; tryptophan; growth performance; serum biochemical parameters

---

*Corresponding authors: WANG Feng, professor, E-mail： tcswf@126.com; ZHANG Tietao, associate professor, E-mail： zhangtietao@caas.cn （责任编辑　武海龙）